

Дослідження спрямовано на розробку стабільної композиції на основі нанорозмірного силіцій діоксиду, яка може бути використана для кінцевої обробки бавовняних та поліефірних текстильних матеріалів. Сфери використання композиції – процеси виробництва та побутового прання текстильних виробів з метою покращення їх властивостей (гігроскопічності, вологовіддачі, вологопоглинання, вологості, паропроникності та забруднювальності). Виконано оптимізацію складів композицій та оцінку екологічного навантаження на навколишнє природне середовище від їх використання в умовах промислового виробництва та при експлуатації текстильних виробів

Ключові слова: наночастинки, поверхнево-активна речовина, текстильні матеріали, суспензія, силіцій діоксид, нано-препарат

Исследование направлено на разработку стабильной композиции на основе наноразмерного диоксида кремния, которая может быть использована для конечной обработки хлопковых и полиэфирных текстильных материалов. Сферы использования композиции – процессы производства и бытовой стирки текстильных изделий с целью улучшения их свойств (гигроскопичности, влагоотдачи, влагопоглощения, влажности, паропроницаемости и загрязняемости). Выполнена оптимизация составов композиций и оценка экологической нагрузки на окружающую природную среду от их использования в условиях промышленного производства и при эксплуатации текстильных изделий

Ключевые слова: наночастицы, поверхностно-активное вещество, текстильные материалы, суспензия, диоксид кремния, нано-препарат

РОЗРОБКА КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ НАНОЧАСТИНОК ДЛЯ КІНЦЕВОЇ ОБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Д. С. Матвейцова

Молодший науковий співробітник*

E-mail: matveitsovadariia@ukr.net

О. А. Параска

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра хімічної технології**

E-mail: olgaparaska@gmail.com

С. А. Карван

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: karvan@ukr.net

*Кафедра хімії**

**Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11,
м. Хмельницький, Україна, 29000

1. Вступ

В умовах сьогодення в багатьох країнах світу, в тому числі в Україні виникла проблема погіршення соціально-економічних та екологічних умов, що накладає відбиток на здоров'я людей. Відповідно у сучасному суспільстві склалися певні вимоги до якості текстильних матеріалів та виробів з них, в основу яких ставиться безпечність, гігієнічність та функціональність. Розвиток та зростання виробництва української текстильної продукції у сучасних умовах неможливий без підвищення конкурентоздатності на внутрішньому та зовнішньому ринках. Значною мірою вирішення цих задач залежить від використання сучасних, прогресивних, економічно-та екологічно-ефективних технологій опорядження, які передбачають застосування нових високоякісних препаратів, здатних надавати текстильним матеріалам та виробам з них комплексу високих споживчих властивостей.

Одним із найбільш перспективних напрямків вдосконалення технологічних процесів і підвищення якості текстильних матеріалів є інтеграція нанотехнологій у текстильну галузь виробництва.

Сучасні тенденції використання нанотехнологій у текстильній галузі можна поділити на декілька категорій:

- покращення текстильних матеріалів використанням наноматеріалів та нанопокриттів;
- використання вбудованих електронних компонентів та мікроелектромеханічних систем у звичайні матеріали;
- гібридизація текстилю і біометричних систем.

Враховуючи тенденції текстильного ринку та наукової зацікавленості, актуальним напрямком розробки є модифікація поверхні волокна та тканини наночастинками у процесі кінцевої обробки та при експлуатації готового одягу, а також необхідність формулювання технології опорядження текстильних матеріалів з використанням наночастинок шляхом удосконалення класичної технології текстильного виробництва.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В основному новітні дослідження у області розробки текстильних матеріалів з новими властивостями спрямовані на генерацію нанопокриттів на текстиль-

ний матеріал у процесі його виготовлення [1] або опорядження [2]. У галузі текстильного виробництва наночастинки використовуються для отримання таких властивостей як самоочищення [3], антибактеріальні [4], водовідштовхування [5].

Розглянемо найбільш поширений метод нанесення нанопрепаратів на поверхню текстильного матеріалу з метою генерації нанопокриття – гель-золь метод.

Гель-золь метод осадження є універсальною, відносно легкою та привабливою технологією для генерації покриттів на різних матеріалах з метою забезпечення певних властивостей [1, 5–7]. Колоїдні розчини, як правило, є нанозольми на основі наночастинок оксидів у водному або органічному розчинниках. Гель-золь метод є одним із найбільш використовуваних методів у текстильній галузі, реалізується мокрими способами покриття або занурення.

Наночастинки володіють унікальними механічними, термічними, трибологічними, електрохімічними та іншими властивостями, вони є перспективними компонентами для утворення нових композицій для обробки текстильних матеріалів. Нанорозмірний силіцій діоксид відноситься до найпоширеніших сполук в різних областях техніки, оскільки завдяки розгалуженій поверхні діоксиду кремнію можливо надавати специфічні властивості шляхом модифікації структурної будови та поверхні сполуки. Велика площа активної поверхні, утворена наночастинами, визначає ряд важливих властивостей поверхні та структури текстильного матеріалу, отже розміри частинок являються основним фактором. Оскільки неоднорідність розмірів наночастинок спричиняє зміну фізичних властивостей композитних матеріалів, отриманих з їх використанням, то розробка методу отримання композиції на основі наночастинок однорідного складу та її стабілізація являється одною з пріоритетних задач у процесі отримання нових композицій для обробки текстильних матеріалів.

Сучасні дослідження з використанням наночастинок для обробки текстильних матеріалів спрямовані на досягнення заданих властивостей. Авторами роботи [8] розглянуто збільшення міцності текстильних матеріалів з використанням наночастинок Al_2O_3 , SiO_2 , ZnO , вуглецевих нанотрубок. Виходячи з результатів досліджень [9, 10], використання наночастинок сажі, міді, поліпіролу, поліаніліну та вуглецевих нанотрубок надають текстильним матеріалам властивості електропровідності та антистатичності. При модифікації волокон наночастинами TiO_2 можливо надати їм властивості самоочищення [11], брудозахисту [12] і водовідштовхування [11], водопоглинання [13], УФ захист [12], антибактеріальні [14].

Матриця SiO_2 та монтморилоніт можуть використовуватися для контрольованого вивільнення активних речовин, лікарських засобів або ароматів [15]. Проте незаповненою лишається ніша досліджень використання наночастинок для комплексного забезпечення властивостей текстильних матеріалів.

3. Ціль та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету розробити композиції на основі наночастинок силіцій діоксиду

для кінцевої обробки текстильних матеріалів з волокнистим складом бавовна-поліефір з метою формування та покращення їх споживчих властивостей.

Для досягнення поставленої цілі вирішувалися наступні задачі:

- підібрати компоненти суспензії з переліку текстильно-допоміжних речовин для одержання її максимальної стабільності та однорідності розподілу за розмірами і визначити технологічні параметри приготування наносуспензії на основі силіцій діоксиду;

- дослідити вплив та оптимізувати склади композицій з різним складом для максимізації зміни властивостей текстильних матеріалів та провести оцінку впливу її використання на навколишнє середовище.

4. Матеріали та методи досліджень

4. 1. Досліджувані матеріали та обладнання, використане при проведенні досліджень

Силіцій діоксид – високодисперсний, високоактивний, аморфний, пірогенний, отриманий полум'яним гідролізом чотири хлористого силіцію високої чистоти торгової марки Орісіл 380 (ТУ У 24.1-31695418-002:2008).

Аніонна ПАР – натрій додецилбензенсульфонат представляє собою суміш ізомерів натрієвих солей алкілбензенсульфокислот торгової марки Сульфол НП-3 (ТУ У 24.6-20257936-022:2006).

Катіонна ПАР – оцтовокисла сіль продукту взаємодії β -осксіетилетиленадіаміну та вищих жирних кислот кокосової олії торгова назва Барвамід 2К (ТУ У 24.1-32257423-118-2005).

Амфолітна ПАР – кокамідопропілбетаїн, похідне кокаміді (аміду жирних кислот кокосової олії) і бетаїнового гліцину торгової марки Бетаїн 40 (CAS: 61789-40-0, ES:263-058-8).

Неіоногенна ПАР – суміш складних естерів лауринової кислоти, торгова назва Твін-80 (ТУ У 24.5-25066661-004:2008).

Дисперсія полівінілацетатна – ТУ У 24.1-33270581-020:2007.

Дисперсія карбоксиметилцелюлози – ТУ У 24.6-251011682007-2002.

Полівініловий спирт – ГОСТ 10779-78.

Модифікований шляхом гідролізу крохмаль (ДСТУ 4380:2005).

Для оцінки колоїдно-хімічних властивостей проведено дослідження її седиментаційної та агрегативної стійкості з використанням дисперсійного аналізу, який виконано з використанням методики визначення середнього розміру колоїдних частинок за характеристичною мутністю системи методом розділення дисперсної системи на окремі фракції при відстоюванні. Мутність визначали з допомогою фотоколориметра КФК-2.

Аналіз кількості дисперсної фази, що залишається у розчині, проводився з використанням гравіметричного методу після обробки текстильного матеріалу композицією з масовим вмістом нанорозмірного силіцій діоксиду у діапазоні від 0.2 г до 6 г. Осадження дисперсної фази виконували протягом 48 годин. Після відстоювання відбирали осаджену дисперсійну фазу та висушували до постійної маси при температурі 115 ± 2 °C. Оцінку ступеня редиспергування осадженої дисперсної фази при дії зовнішніх механічних сил

проводили за наступною методикою: після осадження суспензії з масовим вмістом НЧ 2 г/л, суспензію перемішували за допомогою лабораторної мішалки при постійній швидкості протягом восьми годин, відбираючи проби до 1 години через кожні 5 хвилин, а у подальшому через кожні 15 хвилин, після чого визначали колоїдно-хімічні властивості суспензії. Кількість поверхнево-активної речовини (ПАР) у дисперсійному середовищі та дисперсійній фазі визначали з використанням екстракційно-колометричного методу аналізу.

4. 2. Методики визначення властивостей текстильних матеріалів

Дослідження текстильних матеріалів виконано згідно діючих в Україні стандартних методик досліджень властивостей текстильних матеріалів.

Гігроскопічні властивості, вологовіддачу, вологопоглинання текстильних матеріалів визначено згідно ДСТУ ГОСТ 3816:2009 (ISO 811-81). Вологість та паропроникність визначили з використанням гравіметричного методу. Забруднюваність текстильних матеріалів оцінювали шляхом вимірювання коефіцієнтів відбиття зразків текстильних матеріалів, визначених фотометричним методом після забруднення складним штучним забруднювачем на основі олії та сажі.

Перед дослідженням текстильні матеріали піддавали попередній обробці, суть якої полягає у знятті виробничого опорядження методом прання у побутовій пральній машині згідно з методикою наведеною у ГОСТ ISO 6330-2011, після чого виконано обробку двома способами запропонованими композиціями.

Спосіб 1. Текстильний матеріал просочують композицією, віджимають на валках до вологості 70–80 % та висушують при температурі 50 °С.

Спосіб 2. Текстильний матеріал обробляють у побутовій пральній машині у процесі ополіскування з додаванням композиції при параметрах віджимання від 600 об/хв до 800 об/хв, висушування виконано при кімнатній температурі.

5. Результати досліджень впливу стабілізаторів на агрегативну та седиментаційну стійкість системи

Згідно попередньо проведених досліджень, суспензію з наночастинками силіцій діоксиду можна вважати монодисперсною, а значить і стабільною після відстоювання протягом 17280 хв., тобто 12 діб у статичних умовах [16]. Для дисперсної системи, використання якої передбачено у технологічному процесі обробки текстильних матеріалів, основними та необхідними критеріями при виборі потенційно-придатних стабілізаторів є можливість їх використання у якості текстильно-допоміжних речовин та відсутність негативного впливу на його властивості. З метою ефективної стабілізації суспензії з первинними розмірами SiO_2 необхідно додавати стабілізатор.

Наявність негативних центрів (центрів адсорбції) дозволяє модифікувати поверхню частинок силіцій діоксиду поверхнево-активними речовинами (ПАР). Для дослідження стабілізації суспензій у якості стабілізуючого компоненту було вибрано чотири ПАР різного іонного характеру (катионне, аніонне, неіоногенне та амфолітне). Полімери вибиралися з урахуванням

найбільш-використовуваних при обробці текстильних матеріалів з вибраним волокнистим складом.

Оскільки важливою характеристикою стабільності суспензії є розмір частинок та колоїдів у системі, дамо характеристику їх еквівалентних радіусів у трьохкомпонентних системах $\text{SiO}_2\text{:H}_2\text{O}$:Стабілізатор, визначених згідно методики визначення розмірів частинок, що не підлягають рівнянню Релея. Залежності середньозважених радіусів колоїдних частинок при додаванні в якості стабілізаторів ПАР наведено на рис. 1. Для порівняння на рис. 1 відображено криву залежності середньозважених радіусів колоїдних частинок у бікомпонентній суспензії $\text{SiO}_2\text{:H}_2\text{O}$.

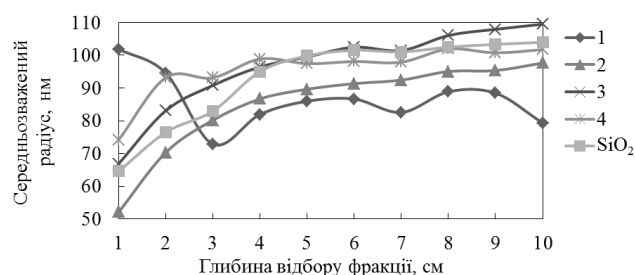


Рис. 1. Графік залежності середньозважених радіусів колоїдних частинок при додаванні в якості стабілізаторів ПАР: 1 — Барвamid 2К; 2 — Сульфонол НП-3; 3 — Твін 80; 4 — Бетаїн; SiO_2 — без додавання стабілізатора

Згідно розподілу суспензії зі стабілізатором Барвamid 2К по еквівалентних радіусах, наведеному на графіку (рис. 1), більшість фракцій лежать у вузькому інтервалі розмірів від 80–90 нм. У верхньому шарі суспензії при додаванні стабілізатора Барвamid 2К спостерігається набагато вища концентрація SiO_2 , що можна пояснити піноутворенням стабілізуючого компоненту суспензії. При додаванні стабілізаторів Сульфонол НП-3, Твін 80 та Бетаїн спостерігаються характерні седиментаційні криві.

Для більшої повноти оцінки впливу стабілізаторів на властивості системи у таблиці 1 наведено розрахункові дані:

- сумарну кількість частинок, які залишаються у розчині (N_{Σ} , част);
- розподіл за укрупненими фракціями в залежності від еквівалентних розмірів колоїдів у інтервалах менше 80 нм (<80); від 80 нм до 100 нм (80–100); більше 100 нм (>100);
- кількість наночастинок у кожній фракції (N, част);
- відсотковий вміст наночастинок у фракціях по відношенню до початкового вмісту наночастинок (K, %);
- об'єми укрупнених фракцій (V, мл).

Згідно наведених даних у табл. 1, кількість частинок, що залишаються у бікомпонентній суспензії $\text{SiO}_2\text{:H}_2\text{O}$, становить $4.28 \cdot 10^{20}$. Згідно укрупнених фракцій відсоткове співвідношення по відношенню до загального вмісту наночастинок в укрупнених фракціях становить 9.4 % з розмірами менше 80 нм; 27.3 % – від 80 нм до 100 нм; 63.3 % – більше 100 нм. Більше значення кількості частинок у суспензії спостерігається при використанні стабілізаторів Сульфонол НП-3 і Твін 80. Найбільша кількість частинок, що залишаються у розчині спостерігається при використанні ста-

білізатора Твін 80, проте 77.3 % розмірами від 100 нм до 110 нм. У відсотковому співвідношенні 0.1 % колоїди з розмірами менше 80 нм; 22.6 % – від 80 нм до 100 нм; 77.3 % – більше 100 нм. При застосуванні в якості стабілізатора Сульфолон НП-3 кількість частинок у розчині становить $5.22 \cdot 10^{20}$ та відсотковий розподіл їх по розмірах – 6.77 % з розмірами менше 80 нм; 95.64 % – від 80 нм до 100 нм; 0 % – більше 100 нм. Отже, введення у суспензію в якості стабілізатора Твін 80 та Сульфолон НП-3 призводить до виявлення системою ознак стабільності, а саме монодисперсності.

Проведено оцінку стабілізуючих властивостей за розмірами частинок та колоїдів, які утворюються у суспензіях з додаванням в якості стабілізуючих компонентів полімерів: дисперсія полівінілацетатна (ПВА), дисперсія карбоксиметилцелюлози (КМЦ), полівініловий спирт (ПВС), модифікований крохмаль (МК).

На рис. 2 наведено значення еквівалентних радіусів колоїдних частинок у залежності від глибини відбору фракції.

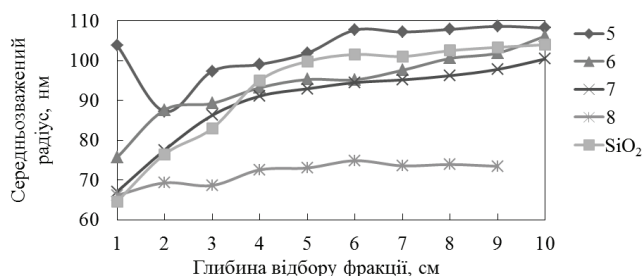


Рис. 2. Графік залежності еквівалентних радіусів колоїдних частинок від глибини відбору фракції: 1 – дисперсія ПВА; 2 – дисперсія КМЦ; 3 – ПВС; 4 – МК; SiO₂ – без додавання стабілізатора

Згідно результатів (табл. 2), найбільші значення кількості частинок, що залишаються у суспензії спостерігаються при використанні в якості стабілізаторів дисперсії ПВА, дисперсії КМЦ та модифікованого крохмалю. Найкращий результат виявлено при використанні стабілізатора КМЦ, основна частка агрегатів лежить в інтервалі розмірів від 80 нм до 100 нм. У відсотковому співвідношенні це – 3.2 % колоїдів з розміром менше 80 нм; 53.3 % – від 80 нм до 100 нм; 43.5 % – більше 100 нм. При застосуванні в якості стабілізатора ПВА, кількість частинок, що залишаються у розчині становить $5.08 \cdot 10^{20}$. Відсотковий розподіл їх за розмірами в укрупнених фракціях становить: 23.5 % – від 80 нм до 100 нм; 76.5 % – більше 100 нм. При введенні у систему стабілізатора МК кількість частинок у розчині становить $4.62 \cdot 10^{20}$ та відсотковий розподіл їх по розмірах становить 60.0 %; 0 %; 40.0 %.

Виходячи з вище наведених результатів досліджень, неможливо обрати один стабілізатор для забезпечення необхідної стабільності та редиспергування системи, відповідно сформована необхідність дослідження використання в якості стабілізатора суміші ПАР:Полімер. Передбачається, що при використанні в якості стабілізаторів суміші ПАР:Полімер відбувається підвищення стабільності суспензії, тобто вона проявляє синергічні властивості.

Таблиця 2

Кількість частинок, які залишаються у розчині та їх розподіл по укрупнених фракціях у присутності полімерів

Стабілізатор	–	Дисперсія ПВА	Дисперсія КМЦ	ПВС	МК
N _Σ	$4.28 \cdot 10^{20}$	$5.08 \cdot 10^{20}$	$5.59 \cdot 10^{20}$	$3.36 \cdot 10^{20}$	$4.62 \cdot 10^{20}$
<80	N	$4.03 \cdot 10^{19}$	–	$1.76 \cdot 10^{19}$	$2.45 \cdot 10^{19}$
	K	1.61	–	0.70	0.98
	V	48	–	24	48
80–100	N	$1.17 \cdot 10^{20}$	$1.19 \cdot 10^{20}$	$2.98 \cdot 10^{20}$	$2.59 \cdot 10^{20}$
	K	4.65	4.76	11.62	10.34
	V	72	72	144	168
>100	N	$2.71 \cdot 10^{20}$	$3.88 \cdot 10^{20}$	$2.43 \cdot 10^{20}$	$5.2 \cdot 10^{19}$
	K	10.82	15.48	9.69	2.07
	V	120	168	72	24

Згідно залежності, відображеної на рис. 2, при додаванні у суспензію дисперсії ПВА спостерігається найбільші еквівалентні радіуси колоїдів. У суспензії спостерігається дві лінійні ділянки з третьою по п'яту фракцію та з шостою по десяту фракцію. Криві залежності еквівалентних радіусів колоїдних частинок від глибини відбору фракції для дисперсії КМЦ та ПВС відображають характерну седиментацію суспензії. При додаванні у систему SiO₂:H₂O в якості стабілізатора МК спостерігається розподіл по об'єму частинок у вузькому інтервалі розмірів, що свідчить про стабілізацію суспензії.

Для повного аналізу розраховано кількість частинок, які залишаються у розчині, та їх розподіл по укрупнених фракціях за еквівалентними розмірами колоїдів за наступними інтервалами: <80; 80–100; >100, а також коефіцієнт стабільності для кожної з укрупнених фракцій. Дані розрахунків наведено у табл. 2.

6. Результати досліджень впливу стабілізованих суспензій на властивості текстильних матеріалів з різним волокнистим складом

Подальше дослідження стабілізації наносуспензій проводиться у площині однорідності обробки текстильних матеріалів. Згідно експериментальних досліджень для оцінки подальшого впливу на текстильний матеріал обрано наступні композиції:

Композиція № 1 – силіцій діоксид:катіонна ПАР:дисперсія ПВА:вода;

Композиція № 2 – силіцій діоксид:аніонна ПАР:МК:вода;

Композиція № 3 – силіцій діоксид:неіоногенна ПАР:дисперсія ПВС:вода;

Композиція № 4 – силіцій діоксид:амфолітна ПАР:дисперсія КМЦ:вода.

З метою комплексного дослідження для всіх композицій та урахування впливу компонентів та співвідношень між ними, було виконано планування експерименту на локальній ділянці з використанням симплекс-центроїдного плану для $q=3$, складеного відносно псевдо-компонентів. Планування експерименту проводилось на локальній ділянці трьохкомпонентної суміші, яка являє собою трикутник з вершинами z_1 (40; 0; 60), z_2 (40; 60; 0), z_3 (0; 20; 80). Межі вмісту компонентів у суміші обирали на основі аналізу рекомендацій щодо складів композицій для кінцевої обробки (г/л): $x_1=1$, $x_2=0,5$, $x_3=1$.

План експерименту для вирішення поставленої задачі наведено у табл. 3. Для кожної точки плану було реалізовано від трьох до п'яти паралельних дослідів у залежності від методики, використаної для досліджуваної властивості текстильного матеріалу.

Таблиця 3

Матриця планування експериментів

№ досліду	Склад суміші					
	Псевдокомпоненти			Вихідні компоненти у %		
	z_1	z_2	z_3	x_1	x_2	x_3
1	1	0	0	40	0	60
2	0	1	0	40	60	0
3	0	0	1	0	20	80
4	0,5	0,5	0	40	30	30
5	0,5	0	0,5	20	10	70
6	0	0,5	0,5	20	40	40
7	0,333	0,333	0,333	26,68	26,54	46,78
8	0,15	0,595	0,298	29,80	40,80	29,40
9	0,3	0,49	0,21	31,60	33,60	34,80

Для визначення оптимального складу суміші, який забезпечує високі значення властивостей текстильних матеріалів, було використано функцію бажаності Харрінгтона. Побудова узагальненої функції бажаності D передбачала перетворення дослідних значень відгуків y_n у безрозмірну шкалу бажаності d . Побудова шкали бажаності встановлює відношення між значеннями відгуку y та відповідним йому значенням приватної функції бажаності d . У цій задачі мають місце односторонні обмеження на критерії оптимізації виду $y \leq y_{\max}$ і $y \geq y_{\min}$, тому для перетворення дослідних критеріїв

у в приватні бажаності d було використано експоненціальна залежність, коефіцієнти b_0 та b_1 можна визначити, якщо задати для двох значень відгуку y відповідні значення бажаності d переважно в інтервалі $0,2 < d < 0,8$. Для визначення b_0 та b_1 було використано наступний прийом: значенню відгуку, отриманому при дослідженні вихідного зразка тканини, присвоюється значення бажаності, рівне 0,2, а кращому значенню відгуку, отриманому по матриці планування (табл. 3), присвоюється значення бажаності – 0,8.

Для обрахунку співвідношень компонентів, при яких усі показники прямують до максимальних значень, використано програмне забезпечення MathCAD 15.0 з виконанням умови максимізації функції $D=\max$. Після обробки отриманих рівнянь регресій у вихідних координатах отримано співвідношення компонентів, які наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Рекомендовані склади композицій

№ композиції	Склад композиції, мас. %			
	Силіцій діоксид	ПАР	Полімер	Вода
1	0.45–0.50	0.05–0.15	0.20–0.25	решта
2	0.48–0.53	0.10–0.15	0.15–0.25	решта
3	0.48–0.51	0.14–0.18	0.15–0.20	решта
4	0.46–0.50	0.11–0.15	0.18–0.26	решта

При таких співвідношеннях компонентів визначено дослідним шляхом зміну властивостей текстильних матеріалів. Результати досліджень наведено на рис. 3.

Результати досліджень, які відображені на рис. 3, свідчать про можливість використання композицій з різними складовими компонентами для підвищення комплексу властивостей текстильних матеріалів з різним волокнистим складом. Для бавовняних текстильних матеріалів найкращі характеристики досягнені шляхом обробки композицією № 1 (силіцій діоксид: катіонна ПАР:дисперсія ПВА:вода); поліефірних – композицією № 2 складу:силіцій діоксид:аніонна ПАР:МК:вода; сумішевих – композицією № 3 силіцій діоксид:неіоногенна ПАР:дисперсія ПВС:вода.

З метою вибору оптимального складу композиції за характеристикою стабільності системи доцільним було виконати оцінку стабільності досліджуваних суспензій, результати якої наведено у табл. 5.

Згідно результатів, наведених у табл. 5, найкращі характеристики стабільності проявляють композиції № 2 та № 3. Кількість частинок, що залишаються у композиції № 2, становить $8.58 \cdot 10^{20}$ згідно укрупнених фракцій. Відсоткове співвідношення розподілу частинок силіцій діоксиду по укрупнених фракціях: 23.8 %; 74.7 %; 15.5 %. У композиції № 3 кількість частинок у розчині – $8.42 \cdot 10^{20}$ згідно укрупнених фракцій, а відсоткове співвідношення 1.4 %; 91.2 %; 7.4 %. Основна частка частинок, що залишаються у композиціях лежить в інтервалі розмірів від 80 нм до 100 нм.

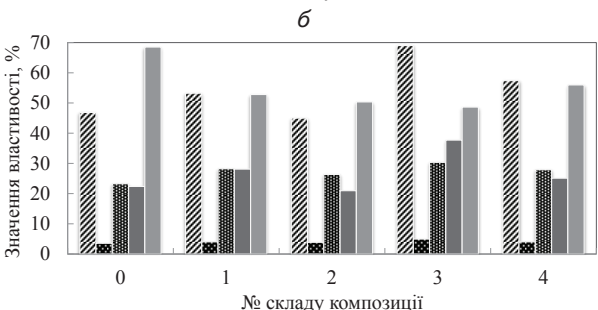
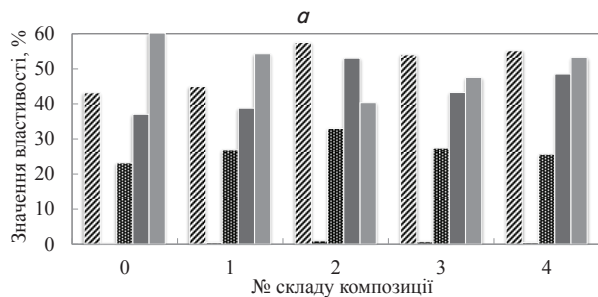
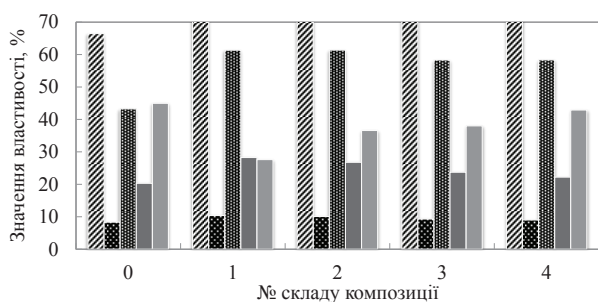
Дослідники-екологи прийшли до висновку, що виявлення, вилучення та аналіз наноматеріалів у пробах з навколишнього середовища вимагає комплексного використання різних технологій. Це спричинено маленькими розмірами, унікальністю структури, фізичних та хімічних характеристик, поверхневих модифікацій та

взаємодії у навколишньому середовищі, у тому числі агломерацію та деагрегацію наночастинок. Для прогнозування імовірності забруднення навколишнього середовища та оцінки рівня екологічної безпеки використання наносуспензій необхідним параметром є визначення їх фізико-хімічних властивостей на етапі утилізації або регенерації.

Таблиця 5

Кількість частинок, які залишаються у розчині та їх розподіл по укрупнених фракціях у присутності композиційних складів

Композиція		1	2	3	4
N, част.		$7.16 \cdot 10^{20}$	$8.58 \cdot 10^{20}$	$8.42 \cdot 10^{20}$	$5.85 \cdot 10^{20}$
<80	N	$1.16 \cdot 10^{20}$	$2.04 \cdot 10^{20}$	$1.18 \cdot 10^{19}$	$4.22 \cdot 10^{19}$
	K	4.62	8.12	0.47	1.68
	V	48	48	24	48
80–100	N	$8.70 \cdot 10^{19}$	$6.41 \cdot 10^{20}$	$7.68 \cdot 10^{20}$	$3.75 \cdot 10^{20}$
	K	3.47	25.55	30.61	14.94
	V	144	168	192	144
>100	N	$5.13 \cdot 10^{20}$	$1.33 \cdot 10^{20}$	$6.20 \cdot 10^{19}$	$1.68 \cdot 10^{20}$
	K	20.44	0.53	2.47	6.70
	V	48	24	24	48



■ Паропроникність ■ Гігроскопічність ■ Водопоглинання
■ Вологовіддача ■ Забруднювальність

б

Рис. 3. Вплив розроблених композицій на зміну властивостей: а – бавовняного текстильного матеріалу; б – поліефірного текстильного матеріалу; в – сумішевого текстильного матеріалу

Оцінку екологічної безпеки композицій виконано за наступними показниками, які визначено після обробки текстильного матеріалу:

- кількість дисперсної фази, що залишилась в розчині;
- ступінь редиспергування наночастинок, при дії зовнішніх механічних сил;
- вміст поверхнево-активних речовин у відпрацьованому розчині.

Кількість дисперсної фази, що залишається у розчині після обробки текстильних матеріалів способами 1 та 2, становить більше 50 % мас від початкової та спостерігається при концентрації силіцій діоксиду у розчині 1 г/л. Це становило велику проблему на даному етапі досліджень, оскільки спричинило зниження екологічної безпеки використання композицій. Згідно з результатами дослідження, оптимальна тривалість механічної дії для редиспергування седиментаційного осаду у суспензії становить 1 годину, що узгоджується з даними приготування композицій. Такі результати дають підставу можливого повторного використання композицій для обробки текстильного матеріалу. Гранично допустима концентрація ПАР у водних об'єктах не повинна перевищувати 0,001 г/л. Дослідження проводилися у діапазоні концентрацій рекомендованих складів, наведених у табл. 4. Для дослідження кількості ПАР у седиментаційному осаді виконували промивання осаду, упарювання до 100 мл та визначення кількості ПАР. Результати досліджень кількісного вмісту ПАР у розчині – C_1 та седиментаційному осаді – C_2 наведено у табл. 6.

Таблиця 6

Кількість ПАР у розчині та седиментаційному осаді

Композиція	1	2	3	4
C_1 , г/л	0.00076	0.00063	0.00072	0.00098
C_2 , г/л	0.03870	0.03799	0.03566	0.03680
$\Sigma = C_1 + C_2$	0.03846	0.03862	0.03658	0.03778

На основі даних, наведених у табл. 6, можна стверджувати, що після відстоювання протягом 48 годин надлишок ПАР адсорбується на волокні та на поверхні нанорозмірного силіцій діоксиду. У розчині залишається кількість ПАР, яка не перевищує нормативного значення.

7. Обговорення результатів дослідження спрямованого розробку стабільної композиції на основі нанорозмірного силіцій діоксиду

Проведене дослідження свідчить про можливість повторного використання седиментаційного осаду, що зводить до мінімуму екологічне навантаження на навколишнє середовище. При повторному використанні основним параметром, який слід враховувати, є компенсація масового вмісту компонентів композиції.

В результаті виконаних досліджень сформовано чотири композиції на основі нанорозмірного силіцій діоксиду. Основними перевагами розроблених композицій є:

- суттєве підвищення показників властивостей текстильних матеріалів з різним волокнистим складом після обробки;
- усі експерименти проведено при кімнатній температурі та низькомодульній обробці, що свідчить про енергоефективність використання розроблених композицій;
- можливість повторного використання розчину композиції дозволяє звести до мінімуму екологічне навантаження на навколишнє середовище та підвищити економічну ефективність.

Проте у дослідженні не розглянуто механізм закріплення композицій на поверхні та розподіл по поверхні текстильного матеріалу, не визначено стійкість обробки, а також не розглянуто особливості довготривалого контакту оброблених текстильних виробів зі шкірою людини.

Результати досліджень можуть бути впроваджені на виробництвах текстильних матеріалів. Композицію можна використовувати у якості препарату для кінцевої обробки текстильних полотен з метою надання їм товарного вигляду та підвищення споживчих властивостей. Можливе використання розробленої композиції на підприємствах побутового обслуговування (пральнях) та при індивідуальному домашньому пранні. У цих випадках передбачається використання композиції у якості кондиціонера для ополіскування.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на досягнення монодисперсності суспензії з розмірами агломератів у вузькому діапазоні розмірів від 20 нм до 60 нм шляхом введення у композицію допоміжних стабілізуючих компонентів та модернізацією технології редиспергування. Мета подальших досліджень – розробка універсального препарату для кінцевої обробки текстильних матеріалів та виробів з різними волокнистими складами, структурою та забарвленням.

8. Висновки

Виявлено стабілізуючі властивості поверхнево-активних речовин та полімерів, обґрунтовано доцільність їх сумісного використання з метою підвищення седиментаційної та агрегативної стійкості суспензій на основі силіцій діоксиду.

Використання методів математичного планування з використанням симплекс-центроїдного плану для $q=3$, складеного відносно псевдо-компонентів дозволило провести оцінку зміни властивостей у обмеженій області вмісту компонентів композицій: полімер від 0 г/л до 10 г/л, ПАР від 0 г/л до 5 г/л, нанорозмірний силіцій діоксид менше 10 г/л. Оптимізувати співвідношення компонентів композицій вдалося з використанням функції бажаності Харрінгтона для максимального підвищення властивостей гігроскопічності, вологовіддачі, вологопоглинання, вологості, паропроникності та забруднювальності досліджуваних текстильних матеріалів.

Виконано седиментаційну та агрегативну стійкість розроблених композиційних складів та отримано композиції, відсотковий вміст наночастинок у фракціях по відношенню до початкового вмісту наночастинок збільшується. У бікомпонентній суспензії у розчині залишається 17.1 % наночастинок, а при додаванні суміші стабілізаторів їх кількість збільшується на 11.5 % для композиції № 1, на 17.1 % – композиції № 2, на 16.5 % – композиції № 3, на 6.24 % – композиції № 4.

Характеристики композицій змінюються на 1–3 % в результаті їх редиспергування після відстоювання протягом 30 днів. Досліджено негативний вплив на навколишнє середовище від використання композиції шляхом аналізу відпрацьованого розчину на кількість поверхнево-активних речовин. Виявлено, що більш як половина силіцій діоксиду залишається у відпрацьованому розчині. Сформоване рішення вищеперерахованих негативних явищ шляхом повторного використання седиментаційного осаду. Проте не зроблено конкретних висновків стосовно рекомендації одного з чотирьох досліджуваних композицій.

Література

1. Brown, P. Nanofibers and Nanotechnology in Textiles [Text] / P. Brown, K. Stevens. – Woodhead Publishing, 2007. – 518 p.
2. Dongxue, L. Nanotechnology in Textiles Finishment [Text] / D. Liu, W. Dong // Modern Applied Science. – 2009. – Vol. 3, Issue 2. – P. 154–157. doi: 10.5539/mas.v3n2p154
3. Dastjerdi, R. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on antimicrobial properties [Text] / R. Dastjerdi, M. Montazer // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2011. – Vol. 79, Issue 1. – P. 5–18. doi: 10.1016/j.colsurfb.2010.03.029
4. El-Molla, M. M. Nanotechnology to improve coloration and antimicrobial properties of silk fabrics [Text] / M. M. El-Molla, E. M. El-Khatib, M. S. El-Gammal // Indian J. Fibre Textile Res. – 2011. – Vol. 36. – P. 266–271.
5. Russell, E. Nanotechnologies and the shrinking world of textiles [Text] / E. Russell // Textile Horiz. – 2002. – Vol. 9, Issue 10. – P. 7–9.
6. Stevens, K. Sol-gel application for textiles: towards new ecological finishes [Text] / K. Stevens // 22-nd IFATCC, 2010.
7. Daoud, W. A. Low temperature sol-gel processed photocatalytic titania coating [Text] / W. A. Daoud, J. H. Xin // Journal of Sol-Gel Science and Technology. – 2004. – Vol. 29, Issue 1. – P. 25–29. doi: 10.1023/b:jsst.0000016134.19752.b4
8. Dong, W. G. Research on properties of nano polypropylene/TiO₂ composite fiber [Text] / W. G. Dong, G. Huang // Journal of Textile Research. – 2002. – Vol. 23. – P. 22–23.
9. Sennett, M. Dispersion and Alignment of Carbon Nanotubes in Polycarbonate [Text] / M. Sennett, E. Welsh, J. B. Wright, W. Z. Li, J. G. Wen, Z. F. Ren // Applied Physics A: Materials Science & Processing. – 2003. – Vol. 76, Issue 1. – P. 111–113. doi: 10.1007/s00339-002-1449-x

10. Burniston, N. Nano Technology Meets Titanium Dioxide [Text] / N. Burniston, C. Bygott, J. Stratton // Surface Coatings International. – 2004. – Part A. – P. 179–814.
11. Wong, Y. W. H. Selected applications of nanotechnology in textiles [Text] / Y. W. H. Wong, C. W. M. Yuen, M. Y. S. Leung, S. K. A. Ku, H. L. I. Lam // AUTEX Res. J. – 2006. – Vol. 6, Issue 1. – P. 1–8.
12. Song, X. Q. The effect of nano-particle concentration and heating time in the anti-crinkle treatment of silk [Text] / X. Q. Song, A. Liu, C. T. Ji, H. T. Li // Journal of Jilin Institute of Technology. – 2001. – Vol. 22. – P. 24–27.
13. Kathiervelu, S. S. Applications of nanotechnology in fibre finishing [Text] / S. S. Kathiervelu // Synthetic Fibres. – 2003. – Vol. 32. – P. 20–22.
14. Zhang, J. Hydrophobic cotton fabric coated by a thin nanoparticulate plasma film [Text] / J. Zhang, P. France, A. Radomyselskiy, S. Datta, J. Zhao, W. V. Ooij // Journal of Applied Polymer Science. – 2003. – Vol. 88, Issue 6. – P. 1473–1481. doi: 10.1002/app.11831
15. Harholdt, K. Carbon Fiber Past and Future [Text] / K. Harholdt // Ind. Fabric Prod. Rev. – 2003. – Vol. 88, Issue 4. – P. 14–28.
16. Karvan, S. Aggregative and sedimentation stabilization of aqueous nanodispersions. Innovations in Clothing Design, Materials. Technology and Measurement Methods [Text]: monograph / S. Karvan, D. Matveitsova, O. Paraska: I. Frydrych (Ed.). – Grazina Bartkowiak, & Maria Pavlowa, 2015. – P. 253–259.